

第II部門 開水路乱流非定常性解析へのURANS法の適用

神戸大学工学部 学生員 池永 健太
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 中山 昭彦

1. 序論

数値流体解析は計算機の大きな進歩により流体の解析を行う上で非常に重要な役割を担うようになってきている。そのなかでもRANS計算は実用計算を行うにあたって広く使用されているが、複雑な乱れを持つ乱流場を解析しているにもかかわらず、計算により得られる解は定常的なものがほとんどである。しかし近年になってRANS計算においても非定常性を再現できることが示されており、非定常RANS(URANS)として検証が行われている。¹⁾ 本研究では壁近傍までモデル化して計算できる低レイノルズ数型 $k-\omega$ モデル(1993)²⁾ を使用して非定常性を持つ流れを数値解析し、非定常性が再現できるかを検証した。また、非定常性を持つ流れとしてトレンチを有する開水路流れ(2000)³⁾ について検討した。

2. 計算条件

数値計算は流れを2次元と仮定して行っており計算領域を図-1に示している。離散化方法は差分法、計算格子は不等間隔直交格子、境界表現に矩形格子近似法、変数配置は流速・圧力・水面位置にスタガード配置、その他の変数は格子点上に変数を配置している。圧力解法はHSMAC法、差分法は、対流項には3次精度風上差分(UTOPIAスキーム)、その他の空間微分項には2次中心差分、時間進行には2次精度Adams-Bashforth法を使用している。非定常性を再現できているかの確認のため標準的なRANS計算として標準型 $k-\epsilon$ モデルを用いた計算も行っておりそれぞれの計算条件を表-2に示している。

図-2 計算条件

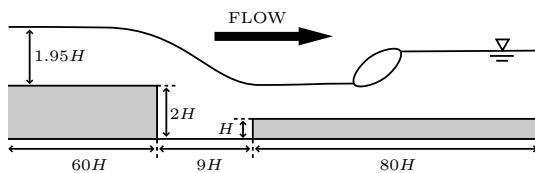


図-1 流れ概要³⁾

略記	RANS モデル	計算格子 (x,y 方向)
SKE	標準型 $k-\epsilon$ モデル	375×22
LOW	低レイノルズ数型 $k-\omega$ モデル	491×106

3. 結果

図-3, 図-4に計算結果を示している。また、図中の t^* は無次元時間 tU_0/Z_d である。どの計算結果においてもSKEではほとんど定常な結果、LOWでは細かい変動が見られる結果となっている。

乱流エネルギー分布を比べるとトレンチ上流側における剥離点付近の分布状況や、水面が上昇に転じるあたりから大きな値となっていることから、LOWの方がPTV計測結果によく似ていると思われる。しかし、トレンチ下流側の段落ち付近ではLOWもSKEも過剰な値となってしまっている。

レイノルズせん断応力を見ると、LOWもSKEもPTV計測と同じような傾向が見られるがトレンチ内部での特に河床面近くの値を見ると若干SKEの方が近い値を示しているように見える。

渦動粘性係数の分布はモデルの違いにより、大きく異なる結果が得られている。特にトレンチ内部で一番違いが大きく、今回の計算においてトレンチ内部の河床面で最も細かく解像されていることも考えると他の壁面においても解像度を上げることでさらに顕著な違いが現れると思われる。

水面変動を見てもPTV計測のように周期的な水面の変化はどちらのモデルにおいても見られない。SKEの水面変動はLOWのそれよりも若干大きいものとなっているが、 $t^* = 300$ 付近から変化が小さくなり、定常なものになってしまう。

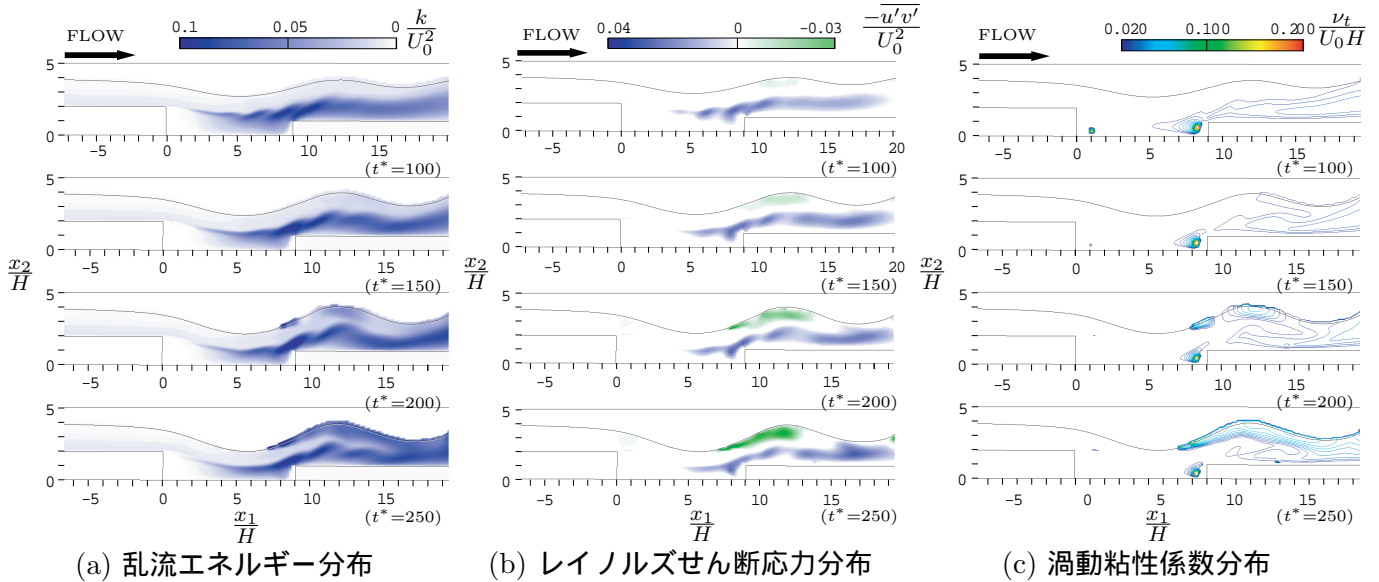


図-3 低レイノルズ数型 $k-\omega$ モデル計算結果

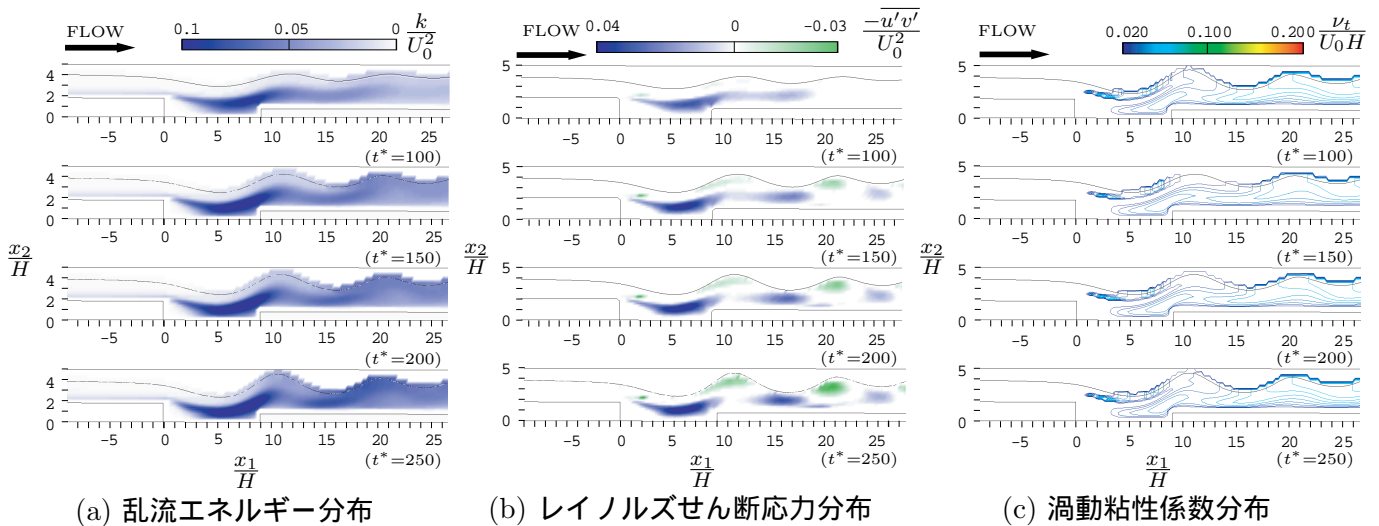


図-4 標準型 $k-\epsilon$ モデル計算結果

4. まとめ

標準型 $k-\epsilon$ モデル⁴⁾の計算結果は $t^*=250$ 以降時間変化の無い結果で非定常性は再現できなかつた。低レイノルズ数型 $k-\omega$ モデル²⁾を使った計算では $t^*=260$ 付近で水面勾配が大きくなり計算継続は難しくなるが、せん断応力分布の細かな時間変動がとらえられており、さらに細かな格子を用いることにより乱流変動を計算できる可能性を示している。また、PTV 計測に見られるような周期的に振動する跳水は再現されなかつたが、これは一価関数で水面高さを表す本方法に限界があるためである。

参考文献

- 1) 宮下康一, 中山昭彦. 非定常 rans による二次元地形上気流の数値シミュレーション. 日本建築学会構造系論文集, Vol. 541, pp. 79-85, 3 2001.
- 2) D.C. Wilcox. *turbulence Modeling for CFD*. DCW Industries. Inc. La Canada, 1993.
- 3) 藤田一郎, 丸山達弥. トレンチを有する開水路段落ち流れの特性. 応用力学論文集, Vol. 3, pp. 787-796, 8 2000.
- 4) B.E. Launder and Spalding. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 103, pp. 456-460, 1974.

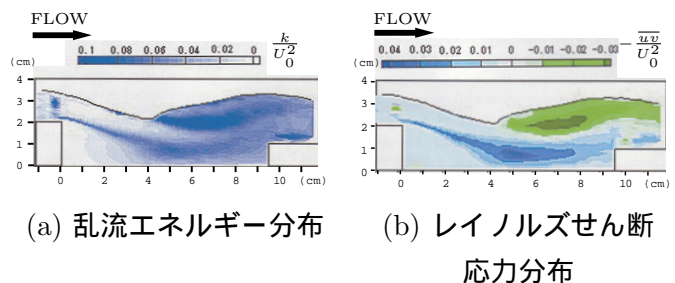


図-5 PTV 計測結果³⁾